

# مطالعه آزمایشگاهی الگوی جریان و آبشستگی اطراف آبشکن سرسپری مستغرق جاذب و دافع

حسین علیزاده ارمکی<sup>۱</sup>، محمد واقفی<sup>۲\*</sup>، مسعود قدسیان<sup>۳</sup>، مجتبی خسروی<sup>۴</sup>

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد هیدرولیک، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس

۲- استادیار سازه های هیدرولیکی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه خلیج فارس

۳- استاد مهندسی آب و هیدرولیک، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس

۴- دانش آموخته کارشناسی ارشد هیدرولیک، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس

vaghefi@pgu.ac.ir

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۳/۱۱/۹]

تاریخ دریافت: [۱۳۹۲/۱۲/۲۰]

**چکیده-** در این مقاله به بررسی آزمایشگاهی الگوی جریان و آبشستگی اطراف آبشکن سرسپری مستغرق، جاذب و دافع در مسیر مستقیم پرداخته شده است. در اندازه گیری سرعت های سه بعدی و توپوگرافی بستر به ترتیب از دستگاه Vectrino<sup>+</sup> و Point gage استفاده شد. سرعت های سه بعدی در حالت بستر تخت اندازه گیری شده اند. آزمایش های الگوی جریان به این صورت انجام شده اند که پس از نصب آبشکن در موقعیت مربوطه، رسوبات بستر تسطیح شده، و سپس اطراف آبشکن به وسیله یک لایه نازک از دوغاب سیمان با استفاده از یک پیستوله روی رسوبات کف کانال پاشیده و ثابت شده اند. پس از ۶ ساعت، با خشک شدن دوغاب سیمان، آزمایش آغاز شد، و در طول زمان برداشت سرعت، آبشستگی مشاهده نمی شد. میدان جریان در مقاطع عرضی و پلان های افقی مختلف ترسیم و الگوی جریان مورد بررسی قرار گرفت. بیشینه آبشستگی آبشکن جاذب بیشتر از آبشکن دافع است و در هر دو حالت در لبه ی بال بالادست آبشکن رخ داده است. نتایج الگوی جریان بیانگر وجود یک صفحه جدایی در بالادست آبشکن است که در آن قسمتی از جریان به صورت بالارونده و قسمتی دیگر به صورت پایین رونده عمل می کند. همچنین الگوی جریان و آبشستگی در مقاطع عرضی، طولی و پلان های مختلف از دیگر نتایج ارائه شده در این پژوهش است. نتایج نشان داد مقدار طول پایین دست حفره ی آبشستگی برای آبشکن جاذب بیشتر بوده و مقدار این طول برای آبشکن جاذب و دافع به ترتیب حدود ۳/۸ و ۳/۱ برابر طول مؤثر آبشکن است که نشان دهنده تأثیر بیشتر آبشکن جاذب بر جریان پایین دست آن است. همچنین عرض حفره ی آبشستگی در آبشکن دافع بیشتر بوده، و مقدار این عرض برای آبشکن جاذب و دافع به ترتیب حدود ۴/۲ و ۵ برابر طول مؤثر آبشکن است. طول پشته ی رسوبی در آبشکن جاذب به دلیل تأثیر بیشتر این آبشکن بر پایین دست آن بیشتر بوده است، و مقدار این کشیدگی برای آبشکن جاذب و دافع به ترتیب حدود ۲۰ و ۱۶/۴ برابر طول مؤثر آبشکن است. همچنین نتایج نشان داد وسعت جریان پایین رونده به سمت بالادست آبشکن در آبشکن جاذب و دافع به ترتیب حدود ۰/۷۷ و ۱/۵ برابر طول مؤثر آبشکن است. آزمایش ها نشان داد طول ناحیه ی جدایی جریان در بالادست آبشکن دافع بیشتر از جاذب بوده، و مقدار این طول در آبشکن جاذب و دافع به ترتیب حدود ۰/۷۷ و ۱/۴ برابر طول مؤثر است، و این طول با وسعت جریان پایین رونده هماهنگی داشته است. همچنین طول ناحیه - ی چرخشی در پایین دست آبشکن جاذب و دافع به ترتیب حدود ۳/۸ و ۳/۱ برابر طول مؤثر آبشکن بوده است و این طول با طول حفره ی آبشستگی پایین دست آبشکن در کنار ساحل مجاور آبشکن هماهنگی داشته است. نتایج نشان داد مرکز گردابه ی ساعتگرد تشکیل شده در پایین دست آبشکن دافع نسبت به آبشکن جاذب به محل آبشکن نزدیک تر است.

**واژگان کلیدی:** الگوی جریان، آبشکن سرسپری، استغراق، جاذب، دافع

## ۱- مقدمه

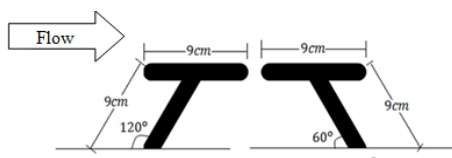
آبشکن یکی از سازه‌های مهم مهندسی رودخانه است که برای حفاظت از ساحل رودخانه بیشترین کاربرد را دارد. این سازه با دورکردن جریان از ساحل رودخانه باعث جلوگیری از فرسایش دیواره‌ها می‌شود و همچنین کناره رودخانه به تدریج با ته‌نشست رسوبات توسعه یافته و با استقرار تدریجی پوشش گیاهی در دراز مدت تثبیت می‌یابد، ولی آبشکن از طرف دیگر الگوی جریان را تغییر داده و باعث ایجاد حفره‌های آبستگی در دماغه‌ی آبشکن می‌شود. دلیل متداول تخریب این سازه افزایش آبستگی اطراف آن است. پس پیش‌بینی بیشینه عمق آبستگی و سازوکار جریان در اطراف این سازه به منظور طراحی مناسب آن بسیار مهم است.

Rajaratnam and Nwachukwu در سال ۱۹۸۳ به بررسی الگوی جریان اطراف آبشکن تیغه‌ای در مسیر مستقیم پرداختند و مشاهده کردند که بیشینه تنش برشی ۳ تا ۵ برابر تنش برشی بالادست آبشکن است، و در نوک بالادست آبشکن رخ می‌دهد. Elawady و همکاران در سال ۲۰۰۱ درصد استغراق (دو حالت استغراق کم و زیاد) برای آبشکن تیغه‌ای در مسیر مستقیم، الگوی آبستگی و جریان در دو حالت بستر تخت و تعادل یافته را بررسی کردند. وی مشاهده کرد که در حالت استغراق زیاد در بالادست آبشکن در لایه‌های نزدیک بستر گردابه‌هایی عمود بر جریان و به سمت بالای آبشکن تشکیل شده و در پایین‌دست آبشکن حالت ریزشی دارند در حالی که لایه‌های دیگر به صورت طولی و با سرعت‌های متفاوت به سمت پایین‌دست حرکت می‌کنند. ولی در حالت استغراق کم لایه‌های نزدیک بستر از کنار آبشکن و با سرعت زیاد به سمت پایین‌دست حرکت می‌کنند و هیچ گردابه‌ای در بالادست آبشکن مشاهده نمی‌شود. Nagy در سال ۲۰۰۵ به بررسی الگوی جریان اطراف آبشکن تیغه‌ای در مسیر مستقیم و در دو حالت مستغرق و غیرمستغرق پرداخت.

Dey&Barbhuiya در سال ۲۰۰۵ الگوی جریان اطراف تکیه-گاه کوتاه را در مسیر مستقیم و در دو حالت بستر تخت و تعادل یافته بررسی کردند و نتیجه گرفتند انرژی جنبشی

آشفستگی در حالت بستر تعادل یافته بیشتر از حالت بستر تخت است و تنش برشی بیشینه حدود ۳/۲ برابر تنش برشی در بالادست تکیه‌گاه است. Ezzeldin et al در سال ۲۰۰۷ با آزمایش‌هایی که روی آبشکن تیغه‌ای با زاویه میل‌های مختلف (۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه) انجام داد، آبشکن با زاویه ۳۰ درجه را از نظر عمق آبستگی و حفاظت ساحل بهترین گزارش نمود. در آزمایش‌های ایشان ناحیه بیشینه آبستگی برای آبشکن قائم و ۶۰ درجه در بالادست آبشکن و برای آبشکن ۳۰ درجه این ناحیه در امتداد طول آبشکن تشکیل شده است. همچنین ایشان با توجه به برابر بودن آبستگی در زاویه ۹۰ و ۶۰ درجه و در بعضی موارد بیشتر بودن آبستگی در زاویه ۶۰ درجه و افزایش هزینه‌ی ساخت آبشکن در حالت زاویه‌دار (به دلیل طول واقعی بیشتر در شرایط برابر)، استفاده از این نوع آبشکن با زاویه میل ۶۰ درجه را غیرمنطقی گزارش نموده‌اند. Kuhnle و همکاران در سال ۲۰۰۸ به بررسی آزمایشگاهی و عددی (با استفاده از CCHE3D) الگوی جریان اطراف آبشکن دوزنقه‌ای مستغرق در مسیر مستقیم در دو حالت بستر تخت و تعادل یافته پرداخت. داده‌های آزمایشگاهی با استفاده از دستگاه ADV و در ۲۵۹۲ (بستر تخت) و ۳۴۸۴ (بستر تعادل یافته) نقطه و در فرکانس ۵۰ هرتز و به مدت ۵ دقیقه اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی عددی انجام شده نتایج قابل قبولی برای نتایج محاسباتی و نتایج آزمایشگاهی به جز ناحیه بازگشتی در پایین‌دست آبشکن در سایر نقاط نشان داد. Vaghefi et al در سال ۲۰۰۹ به بررسی الگوی جریان در حالت بستر تعادل یافته و تأثیر پارامترهای فرود، طول آبشکن و طول بال آبشکن بر آبستگی اطراف آبشکن T شکل غیرمستغرق پرداخت. ایشان سرعت‌های سه-بعدی را با استفاده از دستگاه Vectrino<sup>+</sup> در فرکانس ۵۰ هرتز و به مدت ۱ تا ۳ دقیقه اندازه‌گیری کردند. ایشان ابعاد گردابه بالادست و پایین‌دست آبشکن را در ارتفاع، و الگوی جریان اطراف آبشکن و چگونگی شکل‌گیری جریان ثانویه و اثر آبشکن بر الگوی جریان قوس و قدرت جریان ثانویه در قوس را بررسی کردند. Duan در سال ۲۰۰۹ به بررسی الگوی جریان اطراف آبشکن منفرد، عمودی و تیغه‌ای در مسیر

ارتفاع جریان از یک دریچه قطاعی در انتهای کانال استفاده شده است. ارتفاع جریان با توجه به دبی جریان طوری تنظیم شده است که شرایط آستانه حرکت مصالح ( $U/U_c=0.98$ ) حاکم باشد. شرایط انجام آزمایش در بالادست کانال مستقیم در جدول (۱) آورده شده است. در طول ۱۶۸ ساعت برداشت سرعت‌های سه‌بعدی، ارتفاع و دبی جریان به طور دقیق کنترل شده است. به منظور بررسی الگوی جریان اطراف آبشکن سرسپری مستغرق، آزمایش‌ها با نصب آبشکن در ساحل با نسبت استغراق (نسبت ارتفاع آب بالای آبشکن به عمق جریان در محل آبشکن) ۲۵ درصد انجام شد. دبی جریان ثابت و برابر ۲۵ لیتر بر ثانیه است و برای تنظیم دبی عبوری از کانال، از یک سرریز مثلثی شکل لبه‌تیز با زاویه داخلی ۹۰ درجه از جنس فلز در انتهای مخزن پایین‌دست استفاده شده است. لازم به ذکر است که در تمام آزمایش‌ها شرایط آب تمیز حاکم بوده است. در آغاز، و پس از نصب آبشکن در موقعیت مربوطه سطح رسوبات با یک تسطیح‌کننده بستر صاف شده، و پس از تنظیم دبی و عمق جریان آزمایش‌های آبشستگی به مدت ۲۴ ساعت انجام شده است. فاصله‌ی مقاطع عرضی و طولی برای اندازه‌گیری توپوگرافی بستر در آزمایش آبشستگی به ترتیب ۵ و ۳ سانتی‌متر است. تعداد مقاطع عرضی برداشت شده پروفیل بستر ۷۰ مقطع، و تعداد مقاطع طولی ۲۱ مقطع بوده است.



شکل (۱) مشخصات آبشکن‌های مورد استفاده و چگونگی قرارگیری

جدول (۱) مشخصات جریان ورودی در بالادست کانال

عدد فرود	عدد رینولدز	تنش برشی وارد به بستر (pa)
۰/۳۴	۴۱۶۴۴	۰/۲۰۱۶
عمق جریان (m)	عرض کانال (m)	سرعت متوسط (m/s)
۰/۱۱۸	۰/۶	۰/۳۵۹

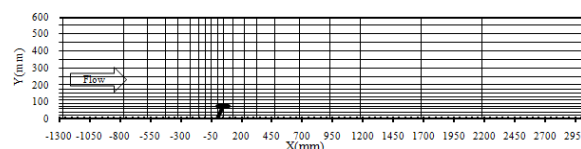
مستقیم پرداخت. ایشان با اندازه‌گیری سرعت‌های سه‌بعدی، با استفاده از دستگاه ADV، پارامترهای تنش‌های رینولدز و برشی را در اطراف آبشکن تعیین نمود. ایشان با محاسبه‌ی تنش برشی بستر به روش تنش‌های رینولدز نتیجه گرفت تنش برشی بستر در اطراف آبشکن، ۲ تا ۳ برابر تنش برشی جریان ورودی است. واقفی در سال ۱۳۸۸ و ۱۳۸۹ به بررسی الگوی جریان در قوس بدون آبشکن و قوس با آبشکن T شکل غیرمستغرق در حالت بستر صلب و تعادل یافته پرداخت. Yaeger&Duan در سال ۲۰۱۰ به بررسی الگوی جریان اطراف سری آبشکن‌های تیغه‌ای در مسیر مستقیم پرداختند. ایشان با اندازه‌گیری سرعت‌های سه‌بعدی در حالت بستر صلب و تغییر پارامترهای دبی و زاویه اتصال آبشکن نسبت به ساحل، مقادیر تنش برشی و تنش‌های رینولدز را به منظور تعیین محل بیشینه عمق آبشستگی محاسبه کردند. از آنجا که آبشکن‌های مستغرق در رودخانه‌های با ارتفاع زیاد آب، به دلایل اقتصادی می‌تواند استفاده شود. و با توجه به اینکه انتظار می‌رود الگوی جریان اطراف آبشکن مستغرق با الگوی جریان اطراف آبشکن غیرمستغرق و تکیه‌گاه‌های پل متفاوت باشد و با توجه به اینکه در زمینه آبشکن‌های مستغرق سرسپری، جاذب و دافع هیچ مطالعه‌ای انجام نشده است بنابراین در این مقاله به مطالعه آزمایشگاهی الگوی جریان سه‌بعدی و آبشستگی اطراف آبشکن سرسپری مستغرق، جاذب و دافع پرداخته شده است.

## ۲- مواد و روش‌ها

آزمایش‌های مورد نظر در کانال آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه تربیت مدرس تهران انجام گرفته است. طول این کانال ۷ متر، ارتفاع آن ۶۵ سانتی‌متر و عرض آن ۶۰ سانتی‌متر است. شیب کف کانال ۰/۰۰۱ است و کف کانال از رسوبات یکنواختی با قطر متوسط  $d_{50}=1/28$  میلی‌متر و  $(d_{84}/d_{16})^{0.5}=1/3$  پوشیده شده است. آبشکن‌ها با استفاده از صفحات مستطیلی از جنس پلکسی‌گلاس با ضخامت ۱ سانتی‌متر ساخته شده‌اند. طول جان و بال آبشکن ۹ سانتی‌متر است (شکل ۱). همچنین پروفیل بستر و تراز سطح آب با استفاده از دستگاه point gage با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شده است. برای کنترل

آزمایش‌های الگوی جریان نیز به این صورت انجام شده‌اند که پس از نصب آبشکن در موقعیت مربوطه، رسوبات بستر تسطیح شده، و سپس اطراف آبشکن به وسیله یک لایه نازک از دوغاب سیمان با استفاده از یک پیستوله روی رسوبات کف کانال پاشیده و ثابت شده‌اند. پس از ۶ ساعت، با خشک شدن دوغاب سیمان، آزمایش آغاز شد، و در طول زمان برداشت سرعت، آبشستگی مشاهده نمی‌شد. در ابتدای آزمایش به منظور جلوگیری از آبشستگی بستر، دریچه‌ی پایین‌دست به شکل کامل بالا کشیده شده، و مصالح بستر کانال با یک شیلنگ آب از پایین‌دست اشباع شده و زمانی که کل کانال از آب اشباع شد (که این زمان تقریباً ۳۰ دقیقه طول می‌کشد)، شیر پمپ جریان به صورت تدریجی و به مدت ۳۰ دقیقه برای رسیدن به دبی مورد نظر افزایش یافت و مقدار این جریان به وسیله‌ی سریز تنظیم می‌شد. سپس دریچه قطعی در پایین‌دست را به آرامی تا عمق مورد نظر چرخانده و آزمایش آغاز شد. در انتهای آزمایش نیز با بستن دریچه قطعی و خاموش کردن پمپ، زهکشی به آرامی و به مدت ۴ تا ۵ ساعت طول می‌کشد. برداشت پروفیل سرعت در ۲۰ مقطع عرضی، ۴ تراز ارتفاعی (۰/۵، ۳، ۷، ۱۱ سانتی‌متری بالای تراز بستر) و همچنین در هر محور عرضی ۱۷ نقطه و در مجموع ۱۳۶۰ نقطه برداشت شده است. شبکه‌بندی گفته شده غیریکنواخت و در نزدیکی آبشکن ریزتر است. در شکل (۲) نمونه‌ای از شبکه‌بندی پلان در طول کانال آورده شده است.

سانتی‌متری نوک حسگر آن است. به‌همین دلیل برای اندازه‌گیری سرعت در نزدیکی سطح جریان از حسگر جانب-نگر و در لایه‌های دیگر از حسگر پایین‌نگر استفاده شده است. همچنین با توجه به اینکه فاصله بین شاخک‌های حسگر پایین‌نگر ۶ سانتی‌متر است برداشت سرعت بعضی از نقاط اطراف آبشکن نیز با حسگر جانب‌نگر گرفته شده است. به منظور شروع آزمایش، ابتدا یکسری آزمایش‌های فرعی برای تعیین فرکانس دستگاه Vectrino<sup>+</sup> و زمان برداشت داده‌ها انجام شد و برداشت داده‌ها در اطراف آبشکن در زمان‌های متفاوت صورت گرفت. داده‌ها پس از تبدیل و بازکردن در نرم افزار Explor-V مورد بررسی قرار گرفته، و زمان مورد نیاز برای اینکه سری زمانی سرعت‌ها در سه جهت، واریانس و سایر پارامترهای آماری در بازه‌های زمانی ثابت شوند، تعیین شد. در واقع اگر سری زمانی سرعت به بازه‌های زمانی مساوی تقسیم شود بعد از زمان مورد نیاز برداشت، مقادیر سرعت هر بازه با هم، هم‌پوشانی دارند؛ با فرض این معیار و انجام آزمایش‌های خاص، زمان ۱ دقیقه برای برداشت نقاط در نظر گرفته شد. فرکانس دستگاه نیز با  $16/7 \geq f/U$  (Garsia 2005) (که در آن f فرکانس دستگاه، U طول مودی آشفتگی که در کانال‌های روباز برابر ارتفاع آب است و  $u_c$  سرعت طولی کانال می‌باشد) انتخاب شد. با این فرض و با توجه به متفاوت بودن سرعت در اطراف آبشکن، مقدار فرکانس (f) از ۲۲ تا ۴۰۰ متغیر است، که فرکانس ۵۰ هرتز انتخاب شد. با فرض این فرکانس و این مدت زمان برداشت، در هر نقطه و در هر جهت ۳۰۰۰ داده سرعت خروجی دستگاه Vectrino<sup>+</sup> است که این داده‌ها با استفاده از الگوریتم whal (2000, 2003) و با فرض Correlation بزرگ‌تر از ۷۰٪، SNR (Signal Noise Ratio) بزرگ‌تر از ۱۵ و در نظر گرفتن معیار Nikora & Goring (2002) فیلتر شده‌اند. با فرضیات بالا و انجام فیلترینگ، در نقاط ترازهای ۵ و ۲۵ درصد عمق جریان بالای ۹۰٪ داده‌ها و نقاط ترازهای ۶۵ و ۹۵ درصد عمق جریان به طور متوسط بالای ۸۰٪ داده‌ها مناسب بودند. و در همه‌ی نقاط پس از فیلترینگ بالای ۱۰۰۰ داده مناسب وجود داشته است.



شکل (۲) شبکه‌بندی نقاط برداشت سرعت‌ها در پلان

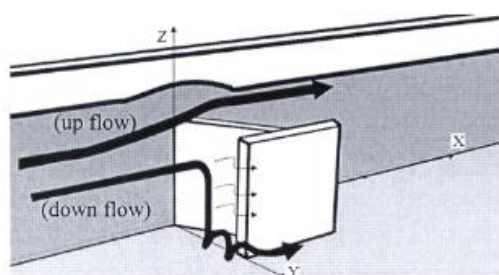
در اندازه‌گیری سرعت‌ها از دستگاه Vectrino<sup>+</sup> استفاده شد. محدوده اندازه‌گیری سرعت‌ها در این دستگاه بین ۰/۱ m/s الی  $\pm 4$  m/s است و دقت اندازه‌گیری ۱ mm/s است؛ همچنین فرکانس دستگاه بین ۵۰ تا ۲۰۰ هرتز و زمان اندازه‌گیری نمونه در این سرعت‌سنج بین ۱ تا ۵ دقیقه است. از مشخصات دیگر این دستگاه اندازه‌گیری جریان در فاصله ۵

### ۳- نتایج و مشاهدات

#### ۳-۱- سازوکار جریان

در ابتدای آزمایش مطابق شکل (۳) جریان در بالادست آبشکن به دو دسته جریان بالارونده (up flow) و پایین‌رونده (down flow) تقسیم می‌شوند. در واقع در محدوده‌ی بین بال و ساحل مجاور آبشکن در بالادست آن یک صفحه جدایی مشاهده می‌شود که در محل این صفحه جدایی، قسمتی از جریان رو به بالا و قسمتی دیگر پایین‌رونده عمل می‌کند. با توجه به اینکه مقدار سرعت ماکزیمم تقریباً در محل همین صفحه جدایی است در اثر برخورد با آبشکن هد سرعت به هد فشار تبدیل می‌شود، بنابراین فشار ماکزیمم در این محل تشکیل می‌شود و با توجه به اینکه فشار در سطح آب و در کف به دلیل سرعت کمتر، کمتر است، به همین دلیل قسمتی از جریان به سمت بالا و قسمتی از جریان به سمت پایین که فشار کمتر است، حرکت می‌کنند. در واقع علت اصلی تشکیل جریان‌های پایین‌رونده و بالارونده وجود گرادیان فشار است. جریان‌های بالارونده در آبشکن‌های مستغرق می‌تواند باعث کاهش آبستنگی آبشکن مستغرق نسبت به غیرمستغرق شود. جریان پایین‌رونده باعث بلند شدن مصالح در بالادست آبشکن می‌شود و از طرفی دیگر به دلیل تأثیر آبشکن در دور کردن جریان از ساحل مجاور آبشکن، میزان مؤلفه‌ی عرضی سرعت جریان در بالادست آبشکن نیز افزایش می‌یابد و در نتیجه ترکیب جریان‌های پایین‌رونده و عرضی در نزدیکی بستر و نزدیک بال گردابه نعل اسبی تشکیل می‌شود. بنابراین در بالادست آبشکن سرسپری جریان پایین‌رونده سبب بلند شدن مصالح از بستر بالادست آبشکن، و مؤلفه‌ی عرضی سرعت جریان در بالادست نیز سبب انتقال رسوب به جلوی آبشکن شده و در انتها مؤلفه‌ی طولی سرعت جریان نیز سبب انتقال رسوب به پایین‌دست آبشکن می‌شود. قدرت جریان پایین‌رونده و مؤلفه‌ی عرضی سرعت جریان در ابتدای آزمایش به قدری است که باعث انتقال رسوبات به حالت پرتاب‌گونه به وسط کانال می‌شود و به مرور زمان در مدت آزمایش، با افزایش عمق حفره‌ی آبستنگی قدرت جریان پایین‌رونده و مؤلفه‌ی عرضی سرعت جریان نیز در نزدیک بستر کاهش

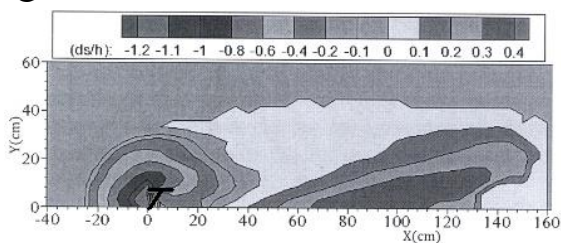
می‌یابد. در محل احداث آبشکن به علت کاهش عرض مقطع جریان، سرعت جریان بیشتر شده و این پدیده سبب ایجاد تمرکز تنش در لبه‌ی بال بالادست آبشکن می‌شود که در نتیجه آن، آبستنگی از این ناحیه شروع می‌شود. همچنین در ادامه‌ی آزمایش در جلوی بال آبشکن نیز گردابه‌ی پادساعتگردی مشاهده شده است که ناشی از مؤلفه‌ی عرضی سرعت جریان و جریان پایین‌رونده در بالادست آبشکن است. این گردابه‌ی پادساعتگرد نیز در جلوی آبشکن مصالح بستر را بلند کرده و مؤلفه‌ی طولی سرعت جریان قسمتی از این مصالح بلند شده را به پایین دست انتقال می‌دهد.



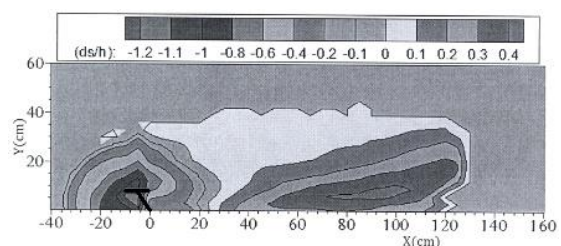
شکل (۳) الگوی شماتیک جریان بالادست آبشکن

میدان جریان در پلان نزدیکی بستر در اطراف این نوع آبشکن‌ها را می‌توان مطابق شکل (۴) (الف) به ناحیه جدایی جریان، لایه برشی، ناحیه چرخشی، انتهای ناحیه چرخشی (ناحیه اتصال مجدد) و ناحیه جریان اصلی تقسیم کرد. علت تشکیل ناحیه جدایی جریان، تأثیر آبشکن بر افزایش مؤلفه‌های عرضی و پایین‌رونده نسبت به مؤلفه طولی است. لایه برشی نیز به دلیل اختلاف سرعت بین جریان اصلی کانال و ناحیه جریان اطراف آبشکن که دارای سرعت کمتر نسبت به جریان اصلی کانال است، تشکیل شده است. این اختلاف سرعت در پایین‌دست آبشکن نیز سبب تشکیل ناحیه چرخشی می‌شود. در ادامه این نواحی، بر اساس آزمایش‌های الگوی جریان در این پژوهش مورد بحث قرار می‌گیرند. در شکل (۴) (الف)،  $L_s$  و  $L_j$  به ترتیب طول ناحیه‌ی اتصال مجدد جریان در پایین‌دست آبشکن و طول ناحیه‌ی جدایی کامل جریان در بالادست آبشکن است. همچنین در این پژوهش مطابق شکل (۴) (ب) ابعاد حفره‌ی آبستنگی شامل عرض ( $w$ )، طول بالادست ( $c$ ) و طول پایین‌دست ( $s$ ) و

پايين دست آبشكن است طول پايين دست حفره ي آبشستگي نيز مورد بررسي قرار گرفت. با مقايسه شكل (۵) (الف) و (ب) مقدار طول پايين دست حفره ي آبشستگي براي آبشكن جاذب بيشتر بوده و مقدار اين طول براي آبشكن جاذب و دافع به ترتيب حدود  $3/8$  و  $3/1$  برابر طول مؤثر آبشكن است. همچنين ناحيه جدابي جريان و ناحيه ي چرخشي در آبشكن دافع كوچكتر بوده و مركز گردابه تشكيل شده در پشت آبشكن دافع در فاصله ي نزديكتر به آبشكن تشكيل شده است. همچنين نتايج نشان مي دهد عرض حفره در آبشكن دافع بيشتر بوده، و مقدار اين عرض در آبشكن جاذب حدود  $4/2$  و در آبشكن دافع حدود  $5$  برابر طول مؤثر آبشكن است. علت بيشتر بودن عرض حفره ي آبشستگي بزرگتر بودن گردابه ي ساعتگرد تشكيل شده در جلوي حفره در اين نوع آبشكن است. همانگونه كه در توپوگرافي بستر نشان داده شده در شكل (۵) (الف) و (ب) مشاهده مي شود، طول پشته-ي رسوبي در آبشكن جاذب به دليل بيشتر بودن دو عامل مؤلفه ي طولی سرعت جريان در جلوي آبشكن و طولانی تر بودن ناحيه چرخشي پشت آبشكن، كه سبب افزايش قدرت حمل رسوبات مي شوند، بيشتر است، و مقدار اين كشيدگي در آبشكن جاذب حدود  $20$  و در آبشكن دافع حدود  $16/4$  برابر طول مؤثر آبشكن است. همچنين مطابق شكل (۵) (الف) و (ب)، همانگونه كه مشاهده مي شود بيشينه ارتفاع



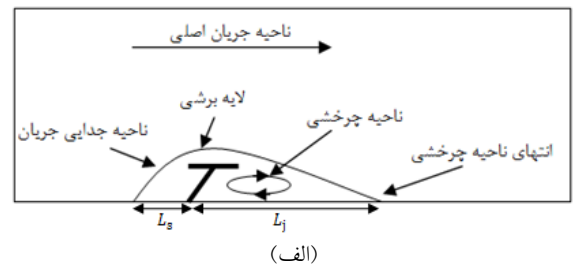
(الف)



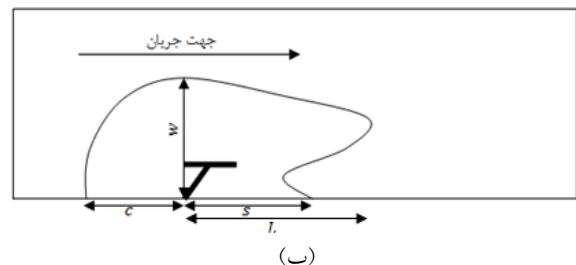
(ب)

شكل (۵) توپوگرافي بدون بستر شده بستر در پايان زمان تعادل نسبي: (الف) آبشكن جاذب (ب) آبشكن دافع

كشيدگي حفره ( $L$ ) در اين نوع آبشكن ها مورد بررسي قرار گرفت.



(الف)



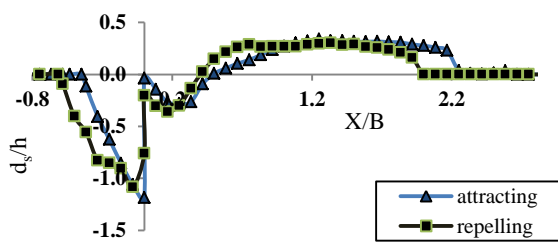
(ب)

شكل (۴) شكل شماتيك: (الف) ميدان جريان اطراف آبشكن در پلان (ب) ابعاد حفره ي آبشستگي

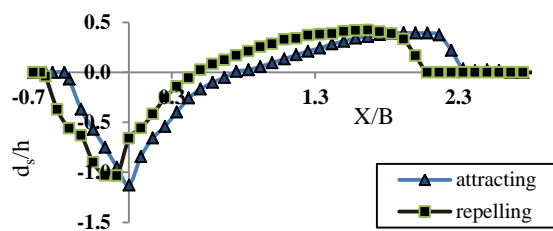
### ۳-۲- بررسی توپوگرافي بستر

در شكل (۵) توپوگرافي بدون بستر شده بستر براي دو آبشكن جاذب و دافع آورده شده است. با مقايسه شكل (۵) (الف) و (ب) مشاهده مي شود، كشيدگي حفره ي آبشستگي در آبشكن جاذب بيشتر از دافع بوده و اين طول براي آبشكن جاذب و دافع به ترتيب حدود  $5/8$  و  $3/6$  برابر طول مؤثر آبشكن است. به نظر مي رسد در آبشكن دافع به دليل شكل قرارگيري جان آبشكن مقدار روگذري جريان بيشتر و ميزان جريان عبوري از روي آبشكن بيشتر است، و به دنبال آن ميزان مؤلفه ي طولی سرعت جريان در جلوي آبشكن كه عامل حمل رسوب در حفره به سمت پايين دست است، كمتر شده و سبب كشيدگي كمتر حفره ي آبشستگي مي شود. نتايج نشان مي دهد كه طول بالادست حفره ي آبشستگي در آبشكن دافع بيشتر بوده و مقدار اين طول در آبشكن جاذب  $3/5$  و در آبشكن دافع  $4/7$  برابر طول مؤثر آبشكن مي باشد. دليلش اين است كه به دليل شكل قرارگيري آبشكن دافع، تأثير اين نوع آبشكن بر تغيير الگوي جريان بالادست و در نتيجه ايجاد جريان هاي پايين-رونده و عرضی با وسعت بيشتر است. با توجه به اينكه هدف اصلي در طراحي آبشكن ها حفاظت ساحل مجاور آبشكن در

آبشکن آبشستگی برای آبشکن دافع کمتر بوده، و در بالادست آبشکن، آبشستگی برای آبشکن دافع بیشتر بوده است. علت بیشتر بودن آبشستگی در پایین دست آبشکن جاذب بیشتر بودن مؤلفه‌ی طولی سرعت در جلوی آبشکن جاذب به دلیل روگذری کمتر جریان است. زاویه قرارگیری آبشکن نسبت به ساحل در چگونگی تشکیل آبشستگی و ترکیب دو جریان اصلی در کانال و جریان‌های پایین‌رونده بسیار مؤثر است. با توجه به اینکه در مقطع عرضی گذرنده از لبه‌ی بالادست آبشکن بیشترین آبشستگی مشاهده شده است، این مقطع مورد بررسی قرار گرفت.



(الف)



(ب)

شکل (۶) پروفیل طولی بستر: (الف) در کنار ساحل مجاور آبشکن (ب) در فاصله ۱۵ درصد عرض کانال از ساحل مجاور آبشکن

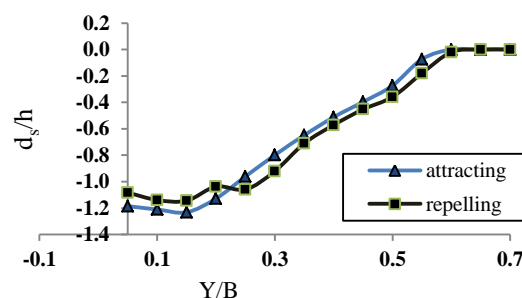
همان‌گونه که در شکل (۷) مشاهده می‌شود، در شرایط یکسان آستانه حرکت، آبشستگی در نزدیکی ساحل مجاور آبشکن جاذب بیشتر از حالت دافع است. ولی در نواحی دورتر از آبشکن و ساحل مجاور آبشکن، در راستای عرض کانال برای آبشکن دافع، آبشستگی بیشتری اتفاق افتاده است. اگر به شکل (۷) در شرایط دافع دقت شود تغییر ناگهانی در محل  $Y/B$  حدود  $0/15$  مشاهده می‌شود که تقریباً از این محل به بعد آبشستگی بیشتری برای آبشکن دافع مشاهده شده است. به نظر می‌رسد در آبشکن دافع به دلیل شکل قرارگیری آبشکن، جریان‌های پایین‌رونده در بالادست آبشکن باید برای ترکیب

پشته‌ی رسوبی برای آبشکن دافع به دلیل سرعت کمتر جریان جلوی آبشکن و به دنبال آن کمتر بودن قدرت حمل رسوبات، بیشتر مشاهده شده است. با توجه به اینکه آبشکن‌ها بیشتر با اهداف حفاظت و احیای ساحل مجاور آبشکن احداث می‌شوند، بررسی پروفیل طولی بستر در کنار ساحل مجاور آبشکن به منظور جلوگیری از فرسایش ساحل از اهمیت زیادی برخوردار است. به همین منظور آبشستگی در کنار ساحل مجاور این دو نوع آبشکن مورد بررسی قرار گرفت. شکل (۶) (الف) پروفیل طولی بدون بعد بستر در کنار ساحل مجاور آبشکن را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل مشاهده می‌شود، در نزدیکی آبشکن، آبشستگی در بالادست آبشکن جاذب بیشتر بوده ولی با دور شدن از آبشکن به سمت بالادست آبشستگی برای آبشکن دافع بیشتر بوده است. به نظر می‌رسد علت این پدیده بیشتر بودن وسعت جریان پایین‌رونده در بالادست آبشکن دافع و تأثیرپذیری کمتر این جریان از جریان اصلی کانال است. همان‌گونه که در شکل یاد شده مشاهده می‌شود رسوب‌گذاری در پایین دست آبشکن دافع در فاصله‌ی نزدیکتر به آبشکن شکل گرفته است. به نظر می‌رسد علت این پدیده طولانی‌تر بودن ناحیه‌ی چرخشی پایین دست آبشکن جاذب و لایه برشی حاصل از آن باشد. همان‌گونه که در شکل یاد شده معلوم است، آبشستگی در پایین دست آبشکن دافع در نزدیک آبشکن نسبت به آبشکن جاذب بیشتر است، که به نظر می‌رسد به دلیل نزدیکتر بودن مرکز گردابه‌ی مشاهده شده‌ی پایین دست آبشکن دافع است. مطابق شکل (۶) (الف) کاهش شدید آبشستگی پایین دست آبشکن نسبت به بالادست آن، به دلیل تأثیر بال آبشکن بر الگوی جریان و قدرت جریان چرخشی پشت آبشکن است. با توجه به اینکه پروفیل طولی در فاصله ۱۵ درصد عرض کانال از ساحل مجاور آبشکن نماینده‌ی بیشترین آبشستگی یا نزدیک به بیشترین آبشستگی است و از اهمیت خاصی برخوردار است، مطابق شکل (۶) (ب)، این پروفیل طولی بدون بعد در این دو نوع آبشکن مورد بررسی قرار گرفت. همان‌گونه که در شکل یاد شده مشاهده می‌شود در تمام طول حفره‌ی پایین دست آبشکن و همچنین در ناحیه نزدیک

به شکلی که این نوع آبشکن بر خلاف خطوط جریان قرار گرفته، انحراف جریان در ترازهای میانی کمتر بوده و جریان در دامنه بیشتری در بالادست آبشکن به جریان‌های پایین-رونده تبدیل می‌شود. به شکلی که وسعت این جریان به سمت بالادست آبشکن در آبشکن جاذب و دافع به ترتیب حدود  $0.77$  و  $1/5$  برابر طول مؤثر آبشکن می‌باشد. مطالب فوق را می‌توان دلیلی برای بزرگتر شدن طول بالادست حفره-ی آبستگی در آبشکن دافع نسبت به آبشکن جاذب دانست. از طرف دیگر به نظر می‌رسد کاهش تدریجی سرعت جریان در بالادست آبشکن دافع در فاصله دورتر در مقایسه با آبشکن جاذب آغاز شده، ولی نرخ کاهش سرعت در آبشکن جاذب بیشتر است. به همین دلیل، همان‌گونه که با خطوط جریان مشخص شده است جریان پایین‌رونده در نزدیک آبشکن جاذب از شدت بیشتری برخوردار است و سبب آبستگی بیشتر در نزدیک آبشکن جاذب می‌شود.

مطابق شکل (۸) (الف) و (ب)، برای ناحیه پایین‌دست این نوع آبشکن‌ها در نزدیکی بستر جریان‌های برگشتی رو به بالادست مشاهده شده است؛ که مؤلفه قائم سرعت جریان برگشتی مطابق خطوط جریان نشان داده شده در نزدیکی بستر برای آبشکن جاذب نزدیک به صفر بوده، در حالی که برای آبشکن دافع مؤلفه قائم سرعت جریان در این ناحیه منفی و به سمت بستر می‌باشد. بطوری که مؤلفه قائم سرعت منفی در آبشکن دافع در این ناحیه دلیل بر عمیق‌تر شدن حفره‌ی آبستگی در پایین‌دست آبشکن دافع نسبت به آبشکن جاذب مطابق شکل (۶) (الف) می‌شود. برای بررسی روند آبستگی اطراف این نوع آبشکن‌ها، میدان جریان در مقطع عرضی گذرنده از لبه‌ی بالادست بال آبشکن در هر دو آبشکن جاذب و دافع مورد بررسی قرار گرفت. مطابق شکل (۹) (الف) و (ب)، در نزدیک ساحل مجاور آبشکن برای قسمتی از خطوط جریان به علت وجود جریان پایین‌رونده در بالادست آبشکن به سمت کف است. این جریان رو به پایین در مقطع یاد شده با بلند کردن مصالح و شستن بستر، به گردابه‌ی پادساعتگرد در مقطع یاد شده برای تبدیل شده، و در ادامه این گردابه‌ی پادساعتگرد برای توسعه یافتگی کامل خود مصالح دیواره

با جریان اصلی مسیر بال آبشکن را طی کرده و با جریان اصلی ترکیب شوند. به همین منظور محل ترکیب دو جریان اصلی و پایین‌رونده در فاصله‌ی دورتری از ساحل مجاور تشکیل می‌شود. ولی در آبشکن جاذب ترکیب این دو جریان در فاصله نزدیکتری از ساحل مجاور شکل می‌گیرد؛ که علت آبستگی بیشتر پروفیل عرضی در نزدیک ساحل همین مورد است. لازم به گفتن است که در آبشکن دافع هر چند اثر شدت جریان‌های پایین‌رونده به دلیل طی شدن مسیر طولانی-تر کاسته می‌شود ولی ترکیب دو جریان اصلی و پایین‌رونده در ناحیه‌ی دورتر از ساحل مجاور، سبب افزایش آبستگی موردنظر در فاصله دورتری از آبشکن می‌شود.



شکل (۷) پروفیل عرضی بستر در مقطع گذرنده از لبه‌ی بالادست بال

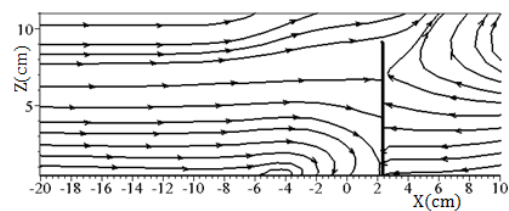
### ۳-۳- بررسی الگوی جریان

برای بررسی میدان جریان در بالادست و بلافاصله پایین-دست آبشکن جاذب و دافع خطوط جریان در مقطع طولی که تقریباً از قسمت میانی آبشکن می‌گذرد (در فاصله ۷ درصد عرض کانال از ساحل مجاور)، آورده شده است. مطابق شکل (۸) که خطوط جریان حاصل از برداشت سرعت در آبشکن جاذب و دافع را نشان می‌دهد، می‌توان گفت در آبشکن جاذب جریان‌های پایین‌رونده در فاصله نزدیک به آبشکن اتفاق می‌افتد. زیرا بخش زیادی از جریان بالادست این نوع آبشکن، در لایه‌های میانی به دلیل شکل قرارگیری آبشکن نسبت به جریان، قبل از این که به جریان پایین‌رونده تبدیل شوند منحرف شده و به جریان اصلی کانال ملحق می‌شوند. ولی همان‌گونه که در شکل (۸) (ب) مشاهده می‌شود در آبشکن دافع وسعت دامنه‌ی جریان‌های پایین‌رونده در بالا-دست آبشکن به دلیل شکل قرارگیری این نوع آبشکن است.

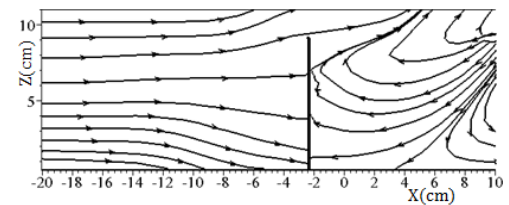


دنبال این پدیده عرض حفره‌ی آبستنگی در آبشکن دافع بیشتر می‌شود. همان‌گونه که در شکل (۱۰) مشاهده می‌شود، میدان جریان برای پلان واقع در تراز ۵ درصد ارتفاع جریان در بالای بستر مورد بررسی قرار گرفت. بررسی‌ها نشان داد به دلیل احداث این نوع آبشکن‌ها، سرعت جریان در ناحیه‌ی بالادست و پایین‌دست آبشکن کاهش یافته، بین این ناحیه و ناحیه‌ی جریان اصلی جدایی شکل می‌گیرد؛ و مرز بین این ناحیه و ناحیه‌ی جریان اصلی همان لایه‌ی برشی است. در محل تشکیل لایه برشی در پایین‌دست آبشکن به دلیل اختلاف زیاد سرعت جریان بین جریان اصلی و ناحیه‌ی چرخشی پایین‌دست آبشکن، سرعت زیاد جریان اصلی سبب ایجاد گردابه‌ی ساعتگرد در پایین‌دست آبشکن می‌شود. این گردابه‌ی ساعتگرد پایین‌دست آبشکن نیز با مکش مصالح، مصالح بستر را بلند کرده و سبب آبستنگی بستر در پایین‌دست آبشکن می‌شود. البته طبق مشاهدات صورت گرفته در آزمایش‌ها در امتداد لایه برشی نیز گردابه‌های بسیار کوچکی مشاهده شده که مصالح پایین‌دست آبشکن را تحت تأثیر خود قرار می‌دهند. آزمایش‌ها طبق شکل (۱۰) نشان داد طول ناحیه‌ی چرخشی در پایین‌دست آبشکن جاذب و دافع به ترتیب حدود  $3/8$  و  $3/1$  برابر طول مؤثر آبشکن بوده است. آزمایش‌ها نشان داد طول ناحیه چرخشی در پایین‌دست آبشکن‌ها با طول حفره‌ی آبستنگی پایین‌دست آبشکن در کنار ساحل مجاور آبشکن هماهنگی داشته و رسوب‌گذاری در این نوع آبشکن‌ها از انتهای ناحیه‌ی چرخشی به سمت پایین‌دست آغاز می‌شود. این بدان معنی است که گردابه ساعتگرد ناحیه‌ی چرخشی پایین‌دست آبشکن عامل اصلی آبستنگی و بلند شدن مصالح در حفره‌ی پایین‌دست آبشکن است. طبق مطالب اشاره شده بالا می‌توان گفت به دلیل آغاز رسوب‌گذاری در فاصله‌ی نزدیکتر به آبشکن در آبشکن دافع، این نوع آبشکن از نظر رسوب‌گذاری بهتر است. مطابق شکل (۱۰)، مرکز گردابه‌ی ساعتگرد تشکیل شده در پایین‌دست آبشکن دافع نسبت به آبشکن جاذب به محل آبشکن نزدیکتر می‌باشد و از آنجایی که آبستنگی در مرکز گردابه‌ی ساعتگرد تشکیل شده به دلیل مکش مصالح توسط آن، بیشتر است، مطابق شکل (۶) (الف) آبستنگی در پایین‌دست آبشکن در ناحیه نزدیکتر به آبشکن، برای آبشکن دافع بیشتر و در ناحیه دورتر از آبشکن، آبستنگی برای آبشکن جاذب بیشتر شده است. طول ناحیه‌ی جدایی کامل جریان در بالادست آبشکن نیز مطابق شکل (۱۰) مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش‌ها نشان داد این طول در بالادست آبشکن دافع و جاذب به ترتیب حدود  $1/4$  و  $0/77$  برابر

حفره را بلند می‌کند. پس از توسعه یافتگی کامل این گردابه‌ی پادساعتگرد، حفره‌ی آبستنگی نیز به تعادل می‌رسد. با توجه به این گفته‌ها همان‌گونه که در شکل (۹) (الف) و (ب) مشاهده می‌شود، برای آبشکن جاذب شیب خط جریان در نزدیکی ساحل مجاور آبشکن به سمت بستر، بستر را بیشتر تحت تأثیر خود قرار داده و موجب آبستنگی بیشتر بستر می‌شود. به همین دلیل در آبشکن جاذب گردابه تا رسیدن به توسعه یافتگی کامل خود سبب آبستنگی بیشتر بستر نزدیک آبشکن در این ناحیه می‌شود.

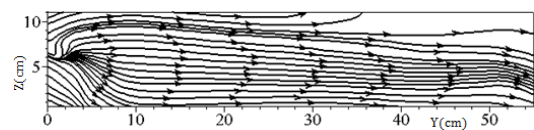


(الف)

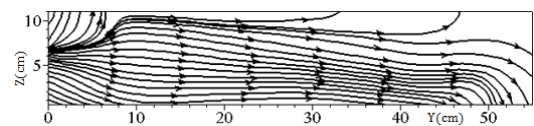


(ب)

شکل (۸) الگوی جریان مقطع طولی در فاصله‌ی ۷ درصد عرض کانال از ساحل مجاور آبشکن (الف) آبشکن جاذب (ب) آبشکن دافع



(الف)



(ب)

شکل (۹) میدان جریان در مقطع عرضی گذرنده از لایه بالادست بال: (الف) آبشکن جاذب (ب) آبشکن دافع

ولی در آبشکن دافع مطابق شکل (۹) (الف) و (ب)، شیب خط این جریان کمتر بوده و تأثیر جریان بر بستر جلوی آبشکن در طول مدت آزمایش بیشتر است و گردابه‌ی تشکیل شده در این نوع آبشکن برای توسعه یافتگی کامل خود بیشتر مصالح جلوی آبشکن را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد که به-

۴. عرض حفره‌ی آبشستگی در آبشکن دافع بیشتر بوده، و مقدار این عرض برای آبشکن جاذب و دافع به ترتیب حدود  $4/2$  و  $5$  برابر طول مؤثر آبشکن است.

۵. طول پشته‌ی رسوبی در آبشکن جاذب بیشتر بوده، و مقدار این کشیدگی برای آبشکن جاذب و دافع به ترتیب حدود  $20$  و  $16/4$  برابر طول مؤثر آبشکن است.

۶. وسعت جریان پایین‌رونده به سمت بالادست آبشکن در آبشکن جاذب و دافع به ترتیب حدود  $0/77$  و  $1/5$  برابر طول مؤثر آبشکن است.

۷. طول ناحیه‌ی چرخشی در پایین‌دست آبشکن جاذب و دافع به ترتیب حدود  $3/8$  و  $3/1$  برابر طول مؤثر آبشکن بوده است.

۸. طول ناحیه چرخشی در پایین‌دست آبشکن‌ها با طول حفره‌ی آبشستگی پایین‌دست آبشکن در کنار ساحل مجاور آبشکن هماهنگی داشته و رسوب‌گذاری در این نوع آبشکن‌ها از انتهای ناحیه‌ی چرخشی به سمت پایین‌دست آغاز می‌شود.

۹. به دلیل آغاز رسوب‌گذاری در فاصله‌ی نزدیک‌تر به آبشکن در آبشکن دافع، این نوع آبشکن از نظر رسوب‌گذاری بهتر است.

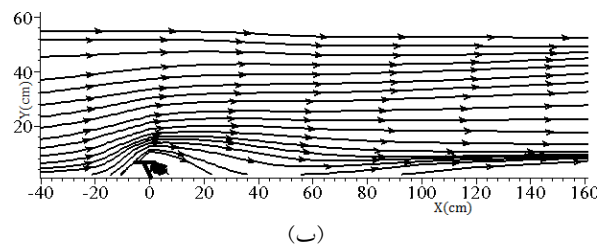
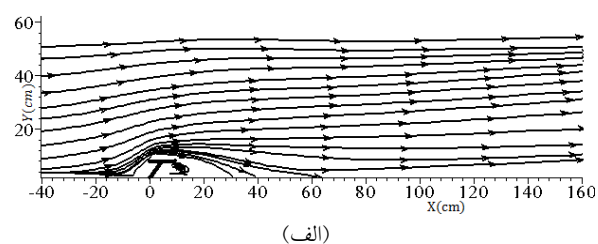
۱۰. مرکز گردابه‌ی ساعتگرد تشکیل شده در پایین‌دست آبشکن دافع نسبت به آبشکن جاذب به محل آبشکن نزدیکتر است.

۱۱. طول ناحیه‌ی جدایی جریان در بالادست آبشکن جاذب و دافع به ترتیب حدود  $0/77$  و  $1/4$  برابر طول مؤثر بوده، و این طول با وسعت جریان پایین‌رونده هماهنگ است.

#### ۴- فهرست واژگان لاتین

Attracting	جاذب
Replling	دافع
Upflow	جریان بالارونده
Downflow	جریان پایین‌رونده

طول مؤثر آبشکن بوده است. لازم به ذکر است که این مقادیر با مقادیر وسعت جریان پایین‌رونده در شکل (۸) که برای آبشکن جاذب و دافع به ترتیب حدود  $0/77$  و  $1/5$  برابر طول مؤثر آبشکن می‌باشد هماهنگ است. همان‌گونه که در مطالب فوق اشاره شد، در ناحیه جدایی جریان سرعت جریان نسبت به ناحیه جریان اصلی کمتر بوده، و کاهش سرعت جریان از ابتدای ناحیه جدایی جریان در بالادست آبشکن سبب ایجاد هد فشار و به دنبال آن جریان پایین‌رونده در بالادست آبشکن می‌شود. هماهنگی وسعت جریان پایین‌رونده و طول ناحیه جدایی جریان در بالادست آبشکن نیز به همین دلیل است. این مطالب نیز می‌تواند دلیلی بر بیشتر شدن طول بالادست حفره‌ی آبشستگی در آبشکن دافع نسبت به آبشکن جاذب باشد.



شکل (۱۰) میدان جریان برای پلان واقع در تراز ۵ درصد ارتفاع جریان از بستر برای: (الف) آبشکن جاذب (ب) آبشکن دافع

#### ۳-۴- نتیجه گیری

مهم‌ترین نتایج آزمایش‌های انجام شده، عبارت است از:

۱. کشیدگی حفره‌ی آبشستگی در آبشکن جاذب بیشتر از دافع بوده و به ترتیب حدود  $5/8$  و  $3/6$  برابر طول مؤثر آبشکن است.

۲. طول بالادست حفره‌ی آبشستگی برای آبشکن جاذب و دافع به ترتیب  $3/5$  و  $4/7$  برابر طول مؤثر آبشکن است.

۳. مقدار طول پایین‌دست حفره‌ی آبشستگی برای آبشکن جاذب بیشتر بوده و مقدار این طول برای آبشکن جاذب و دافع به ترتیب حدود  $3/8$  و  $3/1$  برابر طول مؤثر آبشکن است.

## ۵- مراجع

- Hossam M. Nagy., "Hydraulic evaluation of emerged and submerged spur-dikes: temporal bed evolution and equilibrium state characteristics.", Alexandria Engineering Journal, (2005), Vol. 44, No. 2, 279-290.
- [9] Kuhnle, R. A., Alonso, C. V., and Jia, Y. J., "Measured And Simulated Flow Near Spur Dikes.", Journal of hydraulic Engineering, ASCE, (2008), Vol.128, No. 12, 1087-1093.
- [10] Kuhnle, R. A., Alonso, C. V., and Jia, Y. J., "Flow around around a submerged trapezoidal spur dike test case.", Journal of hydraulic Engineering, ASCE, (2008), Vol.128, No. 12, 1087-1093.
- [11] Nikora, V. I., and Goring, D. G., "Despiking Acoustic Doppler Velocimeter Data.", J. Hydraul. Eng, (2002), 124(6), 630-634.
- [12] Rajaratnam, N., and Nwachukwu, B. A., "Flow near groin-like structures." J. Hydraul. Eng, (1983),109(3), 463 - 480.
- [13] Vaghefi, M. Ghodsian, M. S. A. A. SalehiNeysaboori., "Experimental study on the effect of a T shaped spur dike length on scour in a 90° channel bend.", The Arabian Journal for Science and Engineering, (2009), Volume 34, Number 2B.
- [14] Wahl, T., "Analyzing ADV data using WinADV", Joint Conference on Water Resources Engineering and Water Resources Planning and Management ASCE, Minneapolis, (2000).
- [15] Wahl, T., "Discussion of despiking acoustic dopplervelocimeter data.", Journal of Hydraulic Engineering ASCE, (2003), 129 484-487.
- [16] Yaeger, M., Duan, Jennifer,G., "Mean Flow and Turbulence around Two Series of Experimental Dikes.", World Environmental and water resources congress ASCE, (2010).
- [17] Ezzeldin, M. M., Saafan, T. A., Rageh O. S., and Nejm, L. M., "Local scour around Spur dikes" Eleventh International Water Technology Conference, ,(2007),779-795.
- [18] Elawady. E., Masanori. M., Hinokidani. O., "Movable bed scour around submerged spur-dikes.", Journal of Hydraulic Engineering, JSCE(2001), vol.45.
- [۱] واقفی م.، قدسیان م.، صالحی نیشابوری ع.ا.، "مطالعه آزمایشگاهی الگوی جریان سه بعدی پیرامون آبشکن T شکل مستقر در قوس ۹۰ درجه"، مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، (۱۳۸۸).
- [۲] واقفی م.، قدسیان م.، "مطالعه آزمایشگاهی الگوی جریان سه بعدی پیرامون آبشکن T شکل مستقر در قوس ۹۰ درجه با بستر متحرک"، نشریه مهندسی عمران و نقشه برداری، (۱۳۸۹)، صفحه ۲۷۶ - ۲۶۵.
- [۳] واقفی م.، قدسیان م.، صالحی نیشابوری ع.ا.، "مطالعه آزمایشگاهی الگوی آبستگي پیرامون آبشکن T شکل منفرد مستقر در قوس ۹۰ درجه"، مجله علمی و پژوهشی منابع آب ایران، (۱۳۸۷).
- [4] Barbhuiya, A. K., and Dey, S. "Measurement of turbulent flow field at a vertical semicircular cylinder attached to the sidewall of a rectangular channel.", Flow Meas. Instrum, (2004), 15, 87-96.
- [5] Carlos,M,Garcia., Cantero, Nino and H,Garcia., "Turbulence Measurements with Acoustic Doppler Velocimeters.", Journal of Hydraulic Engineering,(2005).
- [6] Dey, S., and Barbhuiya, A.K. "Turbulent flow field in a scour hole at a semicircular abutment.", Canadian Journal of Civil Engineering, (2005), 32: 1. 213-232.
- [7] Duan, Jennifer,G., Li.,He.,X Fu., and Q.,Wang., "Mean flow and turbulence around experimental spur dike.", Advances in water resources, (2009).
- [8] Ghodsian, M. ,Vaghefi, M., "Experimental study on scour and flow field in a scour hole around a T shaped spur dike in a 90° bend.", International Journal of Sediment.,(2009). Vol.24, No.2, PP 145-158.



## Experimental Investigation of Flow and Scour Pattern around Submerged Attracting and Repelling T head Spur Dike

Hosein Alizadeh Armaki<sup>1</sup>, Mohammad Vaghefi<sup>\*2</sup>, Masoud Ghodsian<sup>3</sup>, Mojtaba Khosravi<sup>4</sup>

1. M.Sc. Graduated of Hydraulic, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Tarbiat Modares University

2. Assistant Professor of Hydraulic Structures, Faculty of Technical and Engineering, Persian Gulf University

3. Professor of Water and Hydraulic, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Tarbiat Modares University

4. M.Sc. Graduated of Hydraulic, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Tarbiat Modares University

vaghefi@pgu.ac.ir

### Abstract

In this paper, flow and scour pattern around submerged and attracting T head spur dike in a straight bend has been studied. For measuring 3D velocities and bed topography, Vectrino<sup>+</sup> and Point gauge machines were utilized. 3D velocities were measured in rigid bed state. Flow pattern experiments were conducted in a way in which after installation of spur dike in their place the sediments of the bed were flattened and then the sediments around the spur dike were covered with a thin layer of cement grout using an airbrush. After 6 hours, once the cement grout dried, the experiments are initiated. During velocity record times no scour was observed. In this research, electrical current was plotted in lateral and horizontal plans and flow pattern was studied. The findings of this research showed that the maximum scour in attracting spur dike is stronger than that of repelling spur dike and in both states it occurs in the edge of upstream wing of spur dike. Besides, flow pattern results suggest presence of a separation plane in upstream spur dike where a part of flow acts as up flow and another part acts as down flow. Moreover, flow and scour pattern in lateral, vertical, and different other plans were presented in this research. Furthermore, the finding of this study revealed that dimensions of downstream scour hole for attracting spur dike are larger. The length of this hole for attracting and repelling spur dike is 3.8 and 3.1 times to the effective length of spur dike. This suggests stronger effect of attracting spur dike on downstream flow. Besides, the width of scour hole in repelling spur dike (4.2 times to the effective length of spur dike) was larger than that of attracting spur dike (5 times to the effective length of spur dike). The length of sediment ridge in the attracting spur dike, due to its stronger effect on its downstream area, was larger (20 times to the effective length of spur dike) than that of repelling spur dike (16.4 times to the effective length of spur dike). Moreover, through this research it was found that the down flow area in upstream spur dike in repelling spur dike is larger than that of the attracting spur dike - 0.77 and 1.4 times to the effective length of spur dike for attracting and repelling spur dike, respectively. This length corresponds with the vastness of down flow. Also, the length of circulation zone in downstream of attracting and repelling spur dikes were 3.8 and 3.1 times to the effective length of spur dike, respectively and this length is in consistent with length of scour hole in downstream spur dike in vicinity of the spur dike. Finally, through this research, it was found that the center of clockwise vortex developed in downstream of repelling spur dike, compared to the attracting spur dike, is closer to the spur dike and due to initiation of deposition in a distance closer to the spur dike in repelling spur dike.

**Keywords:** Flow pattern; T head spur dike; submergence; attracting; repelling